

О РОЛИ ПРОЦЕССА ВНУТРЕННЕГО СУЛЬФИДИРОВАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА В БЕНКУББИНИТАХ

Максимова А.А., Колунин Р.Н.

Руководитель – доц., к.т.н. Гроховский В.И.

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,
alia55@bk.ru

Бенкуббиниты относятся к классу углистых хондритов, содержащих первичное вещество Солнечной системы. Особенностью бенкуббинитов является то, что они содержат зональные металлические зерна с включениями сульфидов, типичное распределение Ni и Cr в которых имеет ретроградный характер. Предлагаются две основные теории формирования таких зерен – вследствие конденсации вещества из неоднородного газопылевого облака – небулы [1] и в результате воздействия ударной волны от столкновения двух небесных тел [2].

Обнаруженный в 2003 году в Башкортостане бенкуббинит Ишеево обогащен сплавами Fe-Ni. Это один из шести найденных на Земле метеоритов этого класса. Результаты подробного микроскопического анализа (оптическая и растровая электронная микроскопия с EDS) нескольких сечений метеорита Ишеево демонстрируют поликристаллическую структуру металла с широкими межзеренными границами и различную морфологию и состав металлических минералов. В зональных частицах, кроме характерного профиля атомов Ni и Cr, обнаружены небольшие (2-7 мкм) выделения троилита (FeS), увеличивающиеся в размерах при приближении к краю зерна. Зональность наблюдается в крупных (до 1 мм) металлических зернах, при этом окружающие их частицы могут быть гомогенными (рисунок 1). Предложенные выше модели не могут объяснить этого соседства, так как предполагают одинаковые условия образования всех металлических зерен.

На основании имеющихся экспериментальных данных была предложена модель [3], объясняющая особенности структуры и зональности как результат протекания диффузионной реакции аналогичной внутреннему окислению, активным реагентом в которой выступают атомы S. Встречные диффузионные потоки атомов S и Ni, а также незавершенность реакции в крупных зернах сплава Fe-Ni формируют градиент по Ni и структуру с дисперсными выделениями FeS. Предполагается, что в зернах малого размера, окружающих зональные частицы, реакция прошла полностью и градиенты Ni и Cr выровнялись, тогда, как в крупных частицах она не завершилась, и наблюдается нетипичная структура металлических зерен.

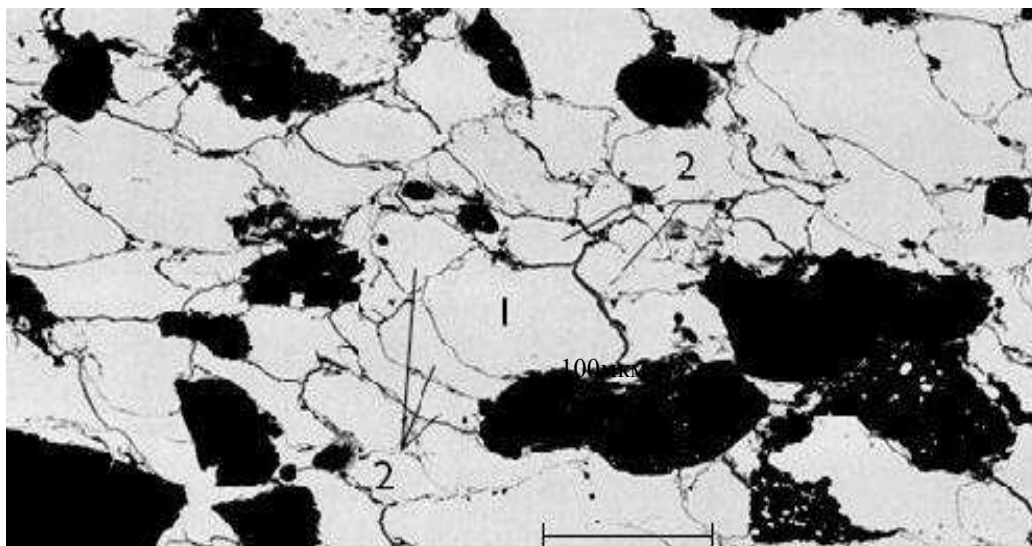


Рисунок 1. Шлиф метеорита Ишеево: 1- зональное металлическое зерно, 2- незональные металлические зерна

Модельные эксперименты по сульфидированию сплавов Fe-Ni при различных температурах проводились многими исследователями. Наиболее интересны эксперименты, выполненные на сплавах Fe-10%Ni в смеси газов H_2/H_2S [4]. Но во всех случаях предметом основного внимания являлись процессы образования сульфидных пленок на поверхности образца. Задачей наших экспериментов было исследование структурных и химических изменений в металле перед фронтом образования сплошной пленки сульфидов. Для этого в кварцевые трубки запаивались по 3 образца: псевдомонокристаллы Fe-Ni сплава с 15% Ni и 28% Ni, метеорит Сихоте-Алинь (6% Ni) и кристаллы серы. Трубки помещали в печь и выдерживали при температурах 820⁰C, 710⁰C и 610⁰C в течение 8 часов. Исследования показали, что во всех образцах, нагретых до 820⁰C и 710⁰C, исходная металлическая основа полностью заместилась на FeS. В образцах метеорита обнаружены области с повышенным содержанием фосфидов, сосредоточенные между окалиной и металлом. При нагреве до 610⁰C состав металла в центре образцов остается неизменным, на поверхности образуется сульфидная пленка. Обнаружены выделения пентландита $(Fe, Ni)_{9-x}S_8$ на границе металл-сульфид. Отдельные случаи образования сульфидов перед движущимся фронтом реакции отмечены в образце Fe-15%Ni при температуре реакции 610⁰C. В остальных случаях скорость, с которой металл окисляется с поверхности, превышает скорость, при которой сера диффундирует в объем сплава и быстродвигающаяся граница окалина-сплав поглощает любые внутренние выделения. Целью дальнейшего исследования является реализация условий протекания процесса внутреннего окисления.

Работа выполнена при частичной поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы», Государственные контракты № P1154 и №14.740.11.1006.

Используемые литературные источники:

1. Goldstein J.I., Jones R.H., Kotula P.G., Michael J.R. Microstructure and thermal history of metal particles in CH chondrites // XXXVI LPSC. 2005.
2. Andrew J. Campbell et al. Origin of zoned metal grains in the QUE94411 chondrite // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2001. V65, P. 163–180.
3. Uymina K.A., Grokhovsky V.I. The structure and origin of metal in Isheyevu CB/CH meteorite // Meteoritics & Planetary Science. 2006. V41. P. A178.
4. Lauretta D.S., Lodders K., Fegley B., Jr. Kamacite sulfurization in the solar nebula // Meteoritics & Planetary Science. 1998. 821-833.